

УДК 535.2:616-71

О. Гришай, студент гр. ПБз-71, к.т.н., доц. Безуглий М.О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

СПЕКТРОФОТОМЕТРІЯ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИМИ РЕФЛЕКТОРАМИ СІРОЇ РЕЧОВИНИ МОЗКУ ЛЮДИНИ В НОРМІ

Анотація. У даній роботі проведено модельний спектрофотометричний аналіз біологічних тканин на прикладі зразків сірої речовини мозку людини з використанням еліпсоїдальних рефлекторів для різних довжин хвиль. На основі визначеної ефективної товщини біологічного зразку, методом Монте Карло отримано фотометричні зображення плями розсіяння фотонів в прямому і зворотному напрямках на різних довжинах хвилі.

Ключові слова: спектрофотометрія, еліпсоїдальні рефлектори, метод Монте Карло

ВСТУП

Більшість біологічних тканин можна назвати гетерогенними речовинами зі складними спектрами поглинання, спектральні характеристики яких залежать від концентрації досліджуваної речовини та визначаються типом домінуючих поглинальних центрів та вмістом води в біологічному об'єкті [1]. При цьому, спектральні лінії окремих компонентів можуть перекриватись та мати різні параметри, тому можуть виникають складнощі при кількісному визначенні концентрації цих компонентів. На спектральні характеристики впливає структура біологічної тканини, яка може змінюватись в залежності від наявної патології або під впливом фізичних чинників. Так, наприклад, значних змін при цьому зазнають коефіцієнти поглинання μ_a та розсіяння μ_s сірої речовини мозку нормальної тканини та коагульованої [2].

Визначення спектральних властивостей біологічних середовищ здійснюється спектрофотометричними методами у відбитому та пропущеному світлі [3], а в деяких випадках [1,4] – одночасно. Для визначення коефіцієнту відбиття R та пропускання T зазвичай використовують оптичні та волоконні системи [5], системи з інтегруючими сферами [1,3] або з еліпсоїдальними рефлекторами (ЕР) [4].

Отримані за допомогою спектрофотометричних засобів спектри пропускання і відбиття використовуються для розрахунку спектральних параметрів: коефіцієнтів поглинання $\mu_a(\lambda)$ та розсіяння $\mu_s(\lambda)$. У залежності від обраної оптичної схеми, можуть використовуватись ті чи інші математичні моделі. Найбільш універсальними при використанні інтегруючої сфери є методи на основі теорії Мі, додавання-помноження, інверсного Монте Карло, що реалізовані та доступні для практичного використання [6]. При еліпсоїдальній рефлектометрії використовують інверсний метод Монте Карло [4] з урахуванням конструктивних параметрів еліпсоїду обертання. Інші математичні методи (потоків моделі Кубелки-Мунка, дифузійне наближення, метод сферичних гармонік та ін.) використовуються для біологічних середовищ зі звуженим діапазоном оптичних властивостей.

Метою даної роботи є аналіз та виявлення особливостей спектрофотометрії біологічних середовищ еліпсоїдальними рефлекторами на основі отриманих фотометричних зображень плями розсіяння у відбитому та пропущеному світлі.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

У даній роботі для дослідження спектральних характеристик біологічних середовищ на прикладі зразків нормальної тканини сірої речовини головного мозку людини використано механізми рей-трейсингу [8], що базується на прямому методі Монте Карло з урахуванням конструктивних особливостей еліпсоїдальних рефlectorів.

Вхідними даними до моделювання є оптичні та геометричні параметри біологічного середовища, а також параметри джерела випромінювання. Оптичні параметри зразку нормальної тканини сірої речовини головного мозку, отримані шляхом моделювання зворотним методом Монте Карло на основі виміряних коефіцієнтів повного відбиття та пропускання з використанням інтегруючої сфери для діапазону довжин хвиль 360-1100 нм з кроком 20 нм [2]. Показник заломлення сірої речовини головного мозку людини в діапазоні довжин хвиль 456-1064 нм є незмінним і становить 1.36 [2]. У таблиці 1 наведені оптичні параметри досліджуваного зразка у видимому діапазоні. Щодо геометричних параметрів, а саме товщини зразку, є деякі обмеження, пов'язані з тим, що випромінювання в досліджуваному діапазоні довжин хвиль на малих товщинах проникає однаково, тому при проведенні моделювання з товщиною зразку в 150 мкм фотометричні зображення практично не відрізняються (рис.1). Тому ще одним завданням даної роботи є визначення ефективної товщини біологічного зразку для досліджуваного діапазону довжин хвиль згідно методики [7-8].

Таблиця 1. Оптичні параметри сірої речовини головного мозку людини у нормі [2]

λ , нм	380	420	460	500	540	580	620	660	700	740	780
μ_a , см-1	2,37	2,98	0,75	0,53	0,42	0,31	0,18	0,2	0,18	0,21	0,22
μ_s , см-1	145,6	133,3	122,7	116	104,5	97,4	92,3	89	82,9	80	80
g	0,865	0,872	0,882	0,88	0,8	0,8	0,885	0,885	0,9	0,9	0,9

Параметри випромінювання визначаються кількістю фотонів та геометрією лазерного пучка. Для отримання фотометричних зображень необхідна велика кількість фотонів, тому моделювання здійснювалося при одному запуску 20 млн фотонів у вигляді нескінченно тонкого лазерного пучка, що відповідає умовам реального експерименту [2]. Для визначення ефективної товщини обраної тканини при фотометрії ЕР було проведено моделювання на різних товщинах шляхом запуску 1000 фотонів без використання еліпсоїду.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Отримані фотометричні зображення плями розсіяння у відбитому (рис.1, а та в) та пропущеному (рис.1, б та г) світлі для товщини зразку 150 мкм на крайніх довжинах хвиль 380 нм і 780 нм досліджуваного діапазону свідчать про неможливість застосування методу еліпсоїдальних рефlectorів для їх оцінки.

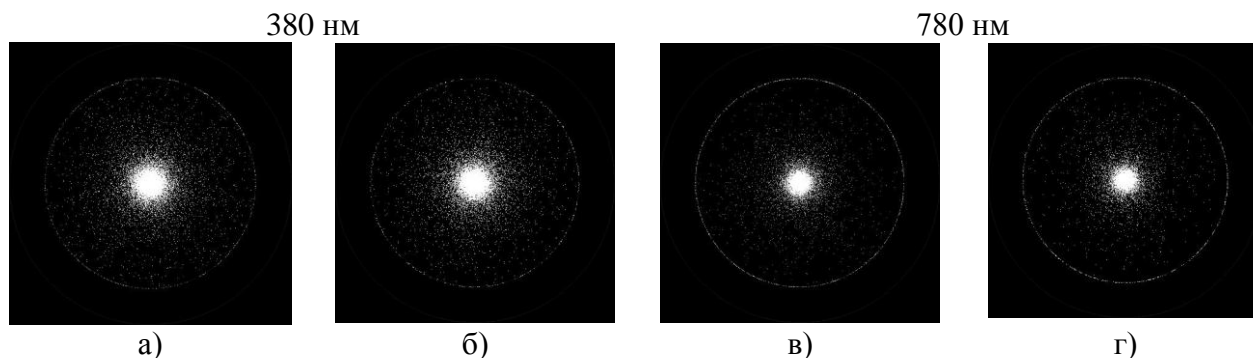


Рисунок 1. Фотометричні зображення плями розсіяння випромінювання біологічним об'єктом товщиною 150 мкм у відбитому (а,в) та пропущеному (б,г) світлі

Результатами моделювання є залежність коефіцієнтів дифузного відбиття (R_d), повного пропускання (T) та поглинання (A) від товщини для відповідної довжини хвилі (рис.2). З отриманих графіків, представлених у логарифмічній шкалі, можна зробити висновок, що на тонких зрізах, а саме до 0,01 см оптичні коефіцієнти на довжинах хвиль видимого діапазону практично не змінюються, а далі починається різке зменшення коефіцієнту повного пропускання, який для довжини хвилі 380 нм на товщині більше 0,6 прямує до нуля, для 580 нм та 780 нм – більше 4 см.

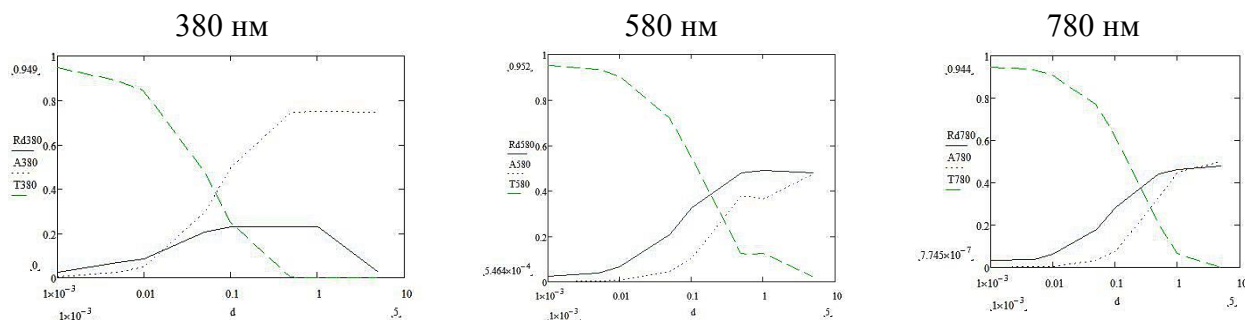


Рисунок 2. Залежність оптичних коефіцієнтів від товщини біологічного зразка d (см) для довжин хвиль 380 нм, 580 нм та 780 нм

У той же момент починає зростати коефіцієнт поглинання A , який для довжини хвилі 380 нм з товщини 0,6 см стає практично незмінним та наближається до значень коефіцієнту повного пропускання T на товщині менше 0,01 см. Для довжин хвиль 580 нм та 780 нм коефіцієнт поглинання A стабілізується після товщини в 1 см. Коефіцієнти дифузного відбиття також мають деяку незмінну ділянку. Так для довжини хвилі це ділянка на товщинах 0,08 – 1 см. Для довжин хвиль 580 нм та 780 нм сталі значення коефіцієнту дифузного відбиття будуть спостерігатися на товщині після 1 см. Іншу границю на графіках рисунку 2 не помітно, оскільки умови даного експерименту не передбачали її пошук.

Для визначення ефективної товщини для отримання фотометричних зображень плями розсіяння достатньо визначити середню товщину на якій значення коефіцієнтів повного пропускання T та поглинання A будуть співпадати. Для 380 нм – 0,07 см, 580 нм – 0,3 см, 780 нм – 0,4 см. Як бачимо зі збільшенням довжини хвилі товщина, на якій знаходиться точка характерного перетину, збільшується не пропорційно, тому доцільно припустити, що

найбільш прийнятною буде товщина в 0,1 см.

У результаті моделювання було отримано фотометричні плями розсіяння випромінювання у пропущеному (рис.3, а,в,д) та відбитому світлі (рис.3, б,г,е)

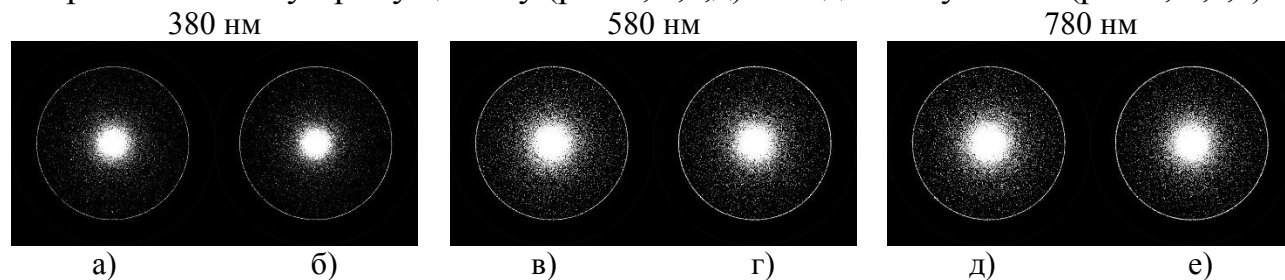


Рисунок 3. Фотометричні зображення плями розсіяння випромінювання біологічним об'єктом товщиною 150 мкм у відбитому (а,в) та пропущеному (б,г) світлі

З отриманих зображень можна зробити висновок про можливість застосування методу еліпсоїдальних рефлекторів для проведення спектрофотометрії біологічних зразків для визначеної товщини. У подальшому планується за допомогою методики [8-9] здійснити зонний аналіз фотометричних зображень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тучин В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях / В. В. Тучин. – Саратов: Сарат. универ., 1998. – 384 с.
2. Yaroslavsky A.N. Optical properties of selected native and coagulated human brain tissues in vitro in the visible and near infrared spectral range / A.N. Yaroslavsky, P.C. Schulze, I.V. Yaroslavsky, R. Schober, F. Ulrich, H.-J. Schwarzmaier // Phys. Med. Biol. – no. 47. – 2002. – Pp. 2059–2073.
3. Bezuglaya N.V. Spatial photometry of scattered radiation by biological objects / N.V.Bezuglaya, M.A. Bezuglyi // in Proc. SPIE. – 2013. – Vol. 9032. – Pp.Q1 – Q5.
4. Bezuglyi M. A. Optical biometry of biological tissues by ellipsoidal reflectors / M. A. Bezuglyi, N.V. Pavlovets // Proc. OSA-SPIE . –2013. – vol. 8798.
5. Rogatkin D. A. Prospects for Development of Noninvasive Spectrophotometric Medical Diagnosis / D. A. Rogatkin, L. G. Lapaeva // Biomedical Engineering, Vol. 37, No. 4, 2003, pp. 217-222.
6. Light Calculators. – Режим доступу: <https://omlc.org/calc/index.html>
7. M. A. Bezuglyi, N. V. Bezuglaya, and I. V. Helich, "Ray tracing in ellipsoidal reflectors for optical biometry of media," Appl. Opt.56, 8520-8526 (2017).
8. Безуглый М. А. Обработка изображений при эллипсоидальной фотометрии / М. А. Безуглый, Н. В. Безуглая, А. Б. Самиляк // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 1.– С. 67 – 76.
9. М. А. Bezuglyi, N. V. Bezuglaya, S. Kostuk, "Influence of laser beam profile on light scattering by human skin during photometry by ellipsoidal reflectors", Devices and Methods of Measurements. 9(1):56-65, 2018.